

És la diversitat sembrada una eina de resistència enfront a les males herbes en cultius farratgers?

Llicenciatura de Ciències Ambientals
Memòria del Projecte Final de Carrera

Aixa Íñigo Pérez

Universitat Autònoma de Barcelona, Juny 2012

Tutora: Dra. Àngela Ribas Artola.
Cotutora: Dra. Rosa Llurba Huguet.

Resum

El creixement de males herbes és un problema habitual als camps de cultiu de plantes farratgeres. Tradicionalment, molts agricultors han utilitzat tot tipus d'estratègies basades en l'energia exògena per evitar la invasió d'espècies no desitjades als monocultius. No obstant, diversos estudis han demostrat que no és la tàctica més adequada per fer front a aquesta situació. A més a més, s'han realitzat diverses anàlisis per tal de determinar la resistència dels policultius davant la invasibilitat i, al mateix temps, augmentar la productivitat, obtenint resultats més satisfactoris als policultius.

Paraules clau: agroecosistemes, espècies no desitjades, farratges, invasibilitat, monocultius, policultius, productivitat, resistència.

Resumen

El crecimiento de malas hierbas es un problema habitual en los campos de cultivo de plantas forrajeras. Tradicionalmente, muchos agricultores han utilizado todo tipo de estrategias basadas en la energía exógena para evitar la invasión de especies no deseadas en los monocultivos. No obstante, diversos estudios han demostrado que no es la táctica más adecuada para hacer frente a esta situación. Además, se han realizado diversos análisis para determinar la resistencia de los policultivos a la invasibilidad y, al mismo tiempo, aumentar la productividad, obteniendo resultados satisfactorios en dichos cultivos.

Palabras clave: agroecosistemas, especies no deseadas, forrajes, invasibilidad, monocultivos, policultivos, productividad, resistencia.

Abstract

Weed growth is a usual problem on fodder plant farmlands. Traditionally, many farmers have used all sorts of strategies based on exogenous energy to avoid the invasion of unwanted species in monoculture. However, several researches have proved that they are not the most appropriate tactics to tackle this situation. Moreover, various analyses have been carried out relating to the polyculture resistance to invasibility, and, at the same time, to increase the productivity getting satisfactory results on these crops.

Key words: agroecosystems, unwanted species, fodder, invasibility, monoculture, polyculture, productivity, resistance.

Agraïments

En primer lloc agrari a les doctores Àngela Ribas Artola i Rosa Llurba Huguet el seu temps i dedicació i per haver fet possible aquest projecte.

Així mateix, agrair a tot el personal del grup de recerca i del laboratori del CTFC per tota l'ajuda i col·laboració rebuda.

ÍNDEX

1. Introducció	6
1.1 Els cultius mixtes o barreges	8
1.2 Què són els cultius farratgers	10
1.3 Generalitzacions de les principals espècies estudiades	10
1.3.1 La família de les gramínies	10
1.3.2 La família de les lleguminoses	11
1.3.3 Les fòrbies	12
1.4 Concepte de “mala herba”	13
1.5 L’experiment	15
1.6 Objectius del projecte	16
2. Materials i mètodes	16
2.1 Localització i descripció de la zona d’estudi	16
2.2 Disseny experimental	18
3 Resultats i discussió	22
3.1 Descripció de la comunitat de males herbes en els camps de cultiu mixtes estudiats	22
3.1.1 La família de les gramínies	24
3.1.2 El grup de les fòrbies	25
3.1.2.1 La família de les asteràcies o compostes	25
3.1.2.2 La família de les quenopodiàcies	26
3.1.2.3 La família de les papaveràcies	26
3.1.2.4 La família de les poligonàcies	26
3.1.2.5 La família de les brassicàcies o crucíferes	27
3.1.2.6 La família de les convolvulàcies	27
3.1.2.7 La família de les escrofulariàcies	27
3.1.2.8 La família de les lamiàcies	27
3.1.2.9 La família de les malvàcies	27
3.1.2.10 La família de les plantaginàcies	27
3.1.2.11 La família de les verbenàcies	28
3.1.2.12 La família de les violàcies	28
3.2 Temporalitat de les espècies	28

3.3 Produccions obtingudes en els cultius estudiats	30
3.4 És la diversitat sembrada un component de resistència a la “invasibilitat”?	32
3.5 Són les interaccions entre espècies iguals?	34
4 Conclusions	36
5 Bibliografia	37

1.Introducció

Dintre de l'ecologia, el concepte de diversitat s'aplica sobretot a nivell de comunitat, on aquesta és interpretada com el nombre d'espècies diferents que conformen una comunitat en un lloc determinat. Tot i això, els ecosistemes tenen un altre tipus de varietat i heterogeneïtat que va més enllà de la predeterminada pel nombre d'espècies. Segons la definició recollida al Conveni sobre la Diversitat Biològica (1992), els sistemes tenen diversitat en la distribució espacial dels seus components, i aquests components no es refereixen només a les espècies, incloent-hi els gens que representen, sinó que també fan referència als processos que en ells tenen lloc. D'altra banda, més enllà del nombre d'espècies, l'abundància relativa d'aquestes en la comunitat, expressada per la seva equitativitat, constitueix un paràmetre clau en les funcions que en resulten (Kirwan et al., 2007; 2009).

Ja Darwin a *The Origin of Species* (1859), o Tansley (1935) feien referència al concepte de diversitat i de com aquesta podria tenir un paper important en els ecosistemes. Amb el temps s'ha demostrat que la diversitat té un paper important en el manteniment de l'estructura i la funció de l'ecosistema. En condicions experimentals molts autors han trobat relacions positives entre l'augment de diversitat i les diferents funcions ecosistèmiques, com pot ser major producció, major eficiència en l'ús de recursos o major estabilitat (Hooper et al., 2005; Tilman et al., 2007).

Al llarg de la història i arreu del món, els agricultors han posat al seu servei diverses eines per a aprofitar els avantatges de la diversitat, aplicades als sistemes agrícoles, tot i donada la seva relativa simplicitat (Altieri i Nicholls, 2004). Moltes d'aquestes eines encara són utilitzades avui en dia als sistemes agrícoles tradicionals, amb estratègies de producció que difereixen dels sistemes intensius de monocultius, els quals estan basats en l'ús d'una elevada quantitat d'energia exògena, com poden ser els fertilitzants, els agroquímics i el combustible de la maquinària que es fa servir per facilitar i agilitzar la feina. Malgrat els cultius mixtes s'utilitzin poc, un cultiu amb una sola espècie no és més productiu que un on es troben diverses representacions de diferents grups funcionals, donat que, en aquests casos, diferents nínxols ecològics es veuen ocupats i possiblement complementats (Ashton et al., 2010; Picasso et al., 2011; Roscher et al., 2011). Així, fruit de l'experiència i l'observació s'ha prescrit l'ús de barreges, donat que encara que molts dels components tinguin requeriments similars els avantatges obtinguts són apreciables. Els beneficis de la coexistència d'aquestes espècies es deuen a la complementarietat en l'ús de recursos, tot i que els mecanismes específics que els produeixen encara s'han de definir (Marquard et al., 2009).

Així, de la mateixa manera que a nivell experimental es demostraven uns beneficis ecosistèmics, la barreja d'espècies i/o varietats en agroecosistemes porta un elevat nombre d'avantatges associats, com l'augment de productivitat primària (Reich et al., 2007), l'augment de cobertura del sòl millorant la fertilitat d'aquest (Altieri, 1989), l'eficiència en l'ús del N (Ellis i Want, 1997) i la reducció de la invasió de males herbes (Tracy et al., 2004), amb les malalties i patògens vinculats que suposa (Harwood, 1979).

Segons Altieri (2000) molts sistemes mixtes eviten la competència entre males herbes, degut principalment a l'alt índex d'àrea foliar dels seus dossers complexes, els quals impedeixen que una quantitat suficient de llum arribi a les males herbes. En general, el grau de competència presentat per les males herbes depèn del tipus de cultiu i de la proporció de les diferents espècies cultivades, la seva densitat, la fertilitat del sòl i les pràctiques culturals. La supressió de les males herbes pot incrementar-se a les cobertes mixtes agregant espècies cultivades que inhibeixen la germinació o creixement de les males herbes. Els cultius tals com el sègol, la civada, el blat, el tabac i l'ordi alliberen substàncies tòxiques, ja sigui a través de les arrels o pel podriment de les parts vegetals. Aquestes toxines inhibeixen la germinació i el creixement d'algunes espècies de males herbes com la mostassa borda (*Brassica sp.*) i la rosella (*Papaver sp.*).

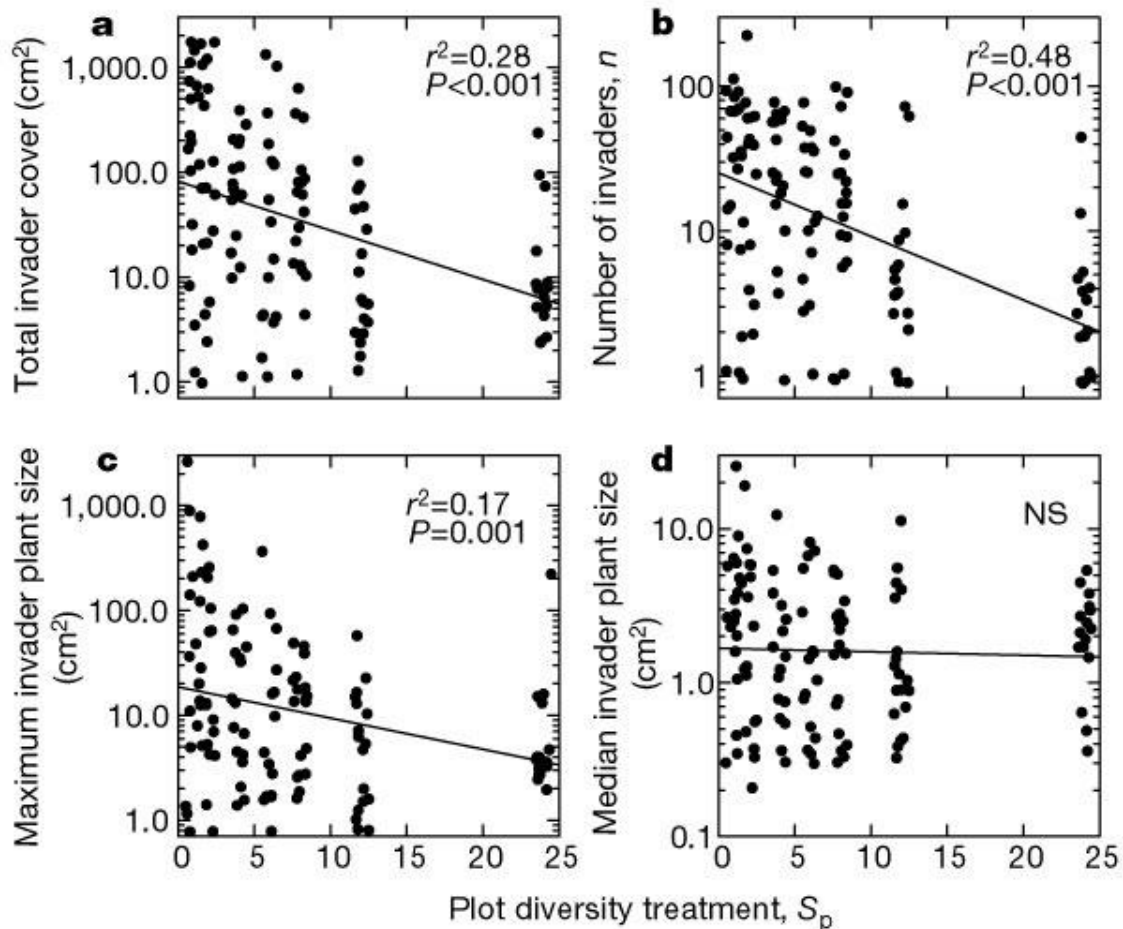


Figura 1: Efectes del tractament de diversitat sobre els invasors totals per parcel·la (a), nombre de plantes invasores per parcel·la (b), màxim d'invasors individuals per parcel·la (c), i tamany mig dels invasors individuals per parcel·la (d). Els patrons de diversitat representats a la parcel·la (a) tenen com a resultat una disminució en el nombre d'invasors (b), i una reducció del màxim de plantes invasores a una parcel·la (c), però no un canvi en el tamany mig d'invasors individuals (d), a parcel·les més diverses. Es mostren les línies de regressió per mínims quadrats. S'ha de tenir en compte l'escala de registre a tots els eixos, i NS, no significatiu (Tilman, 1998).

1.1 Els cultius mixtes o barreges

La tècnica dels cultius mixtes consisteix en la sembra conjunta de diverses espècies coincidint en espai i temps, la qual cosa permet que es donin efectes positius deguts a la interacció entre les diferents espècies a través de processos de complementarietat, facilitació i sinèrgia. També poden tenir un paper important els efectes alelopàtics d'alguna de les espècies incloses en espècies no desitjades a la coberta (males herbes), o la competència intraespecífica, mentre que les plagues poden tenir un impacte menor a través de diferents processos (Ratnadass, 2012). Entre els efectes positius, per exemple en el cas de les lleguminoses, aquestes subministren nitrogen al terra que les plantes veïnes poden aprofitar. Les espècies més altes serveixen de

suport a les trepadores, i les plantes baixes proporcionen ombra a les arrels de les plantes properes. Hi ha espècies que produeixen metabòlits secundaris amb un efecte plaguicida, com els gèneres *Tagetes* o *Calendula* contra els nematodes del terra.



Figura 2: Detall d'una coberta mixta.

Normalment aquesta tècnica és utilitzada a regions on es practica el conreu d'horta amb tècniques tradicionals, com els fesols o les mongetes amb panís a Amèrica, així com als cafetals, els quals esdevenen ecosistemes bastant complexos amb molts estrats de correus diferents (Altieri, 1987). També s'han donat investigacions a Holanda amb barreges de porro i pastanaga, a més de conreus mixtes amb arbres fruiters. De la mateixa manera, existeixen els conreus de cobertura, els quals són sistemes ecològics gestionats i formats en gran part pels éssers humans a través d'una gamma d'intensitats per produir aliments, pinsos o fibres, i serveixen principalment per augmentar la fertilitat i la qualitat del sòl, l'aigua, les herbes, les plagues, les malalties, la biodiversitat i la vida silvestre a agroecosistemes (Sustainable Agriculture Network, 1998). Són usualment produïts en rotació amb un cultiu, o durant una època de l'any en la qual el cultiu no pot créixer. Aquests cultius són de gran interès a l'agricultura sostenible, ja que són una altra font de matèria orgànica i, sovint, es planten per produir material vegetal per incorporar-la al terra com a "adob verd" (Gliessman et al., 2002). També hi ha el cas dels conreus mixtes en línies i barreges multiespecífiques o polifites mixtes però amb poques espècies, com és el cas del present estudi (Bateman i Keller, 1956).

1.2 Què són els cultius farratgers?

Les anomenades plantes farratgeres són aquelles utilitzades per produir la biomassa necessària per a l'alimentació animal. Dintre d'aquesta categoria es poden distingir dos tipus de conreus farratgers, el conreu temporal de farratgeres i les pastures permanents. El primer correspon al conreu d'espècies farratgeres de forma anual o per un període limitat entre dos i sis anys, farratges anuals i plurianuals, respectivament; mentre que el segon correspon a l'ús de prats naturals i pastius (Pujol i Palol, M., 2003). Segons la seva gestió poden constituir prats de pastura exclusiva, prats per al dall o de gestió mixta (comprenen les dues modalitats). Als cultius plurianuals s'utilitzen els anomenats prats polifits, és a dir, prats amb un elevat nombre d'espècies que es cultiven de forma permanent amb espècies pradenques establides de manera natural o mitjançant la sembra.

Farratges anuals	
Farratges anuals d'hivern	Cereals d'hivern Margall Veça Naps Colza
Farratges anuals d'estiu	Blat de moro Melca/Sorgo Gira-sol
Cultius farratgers plurianuals	Alfals Trepadella Trèvol Prats polifits
Farratges permanents	Prats naturals Pastius

Taula 1: Tipus de cultius mixtes.

A la taula 1 es mostra una classificació agronòmica de les diferents espècies vegetals en funció de l'estacionalitat principalment, o la producció de matèria seca en segon lloc.

1.3 Generalitzacions de les principals espècies estudiades

1.3.1 La família de les gramínies

La família més abundant a les pastures naturals és la de les gramínies o poàcies, la qual compta amb unes 9000 espècies a nivell mundial. Són una família més típica del centre-nord d'Europa que del Mediterrani, degut a la seva poca adaptació a les altes temperatures, la sequera i la dificultat del terreny, tot

i que hi ha un gradient d'adaptació, des de les més adaptades a les condicions mediterrànies, com la utilitzada a l'experiment, fins a les que tenen més requeriments hídrics, més pròpies de sistemes centre-europeus, com *Lolium perenne*.

Dins d'aquesta família es parlarà en concret de *Festuca arundinacea*, la qual presenta un llarg cicle de vida, fins als 10 anys. Les arrels d'aquesta planta solen ser molt profundes, poden arribar fins a 1,5 metres de profunditat, fet que els hi confereix resistència a la sequera pròpia de l'estiu a les nostres latituds. És una espècie ben adaptada a zones temperades de transició i climes mediterranis secs. S'adapta bé a tot tipus de sòls, des dels lleugerament àcids fins als neutres i alcalins; així com a la seva humitat, ja que li van bé des de terrenys secs fins als que tenen tendència a formar bassals. Admet certs nivells d'ombra, i tolera la salinitat dintre d'uns límits raonables. Compta amb una autodefensa i una recuperació excel·lents davant de tot tipus de malalties. Es tracta d'una gramínia amb origen europeu introduïda a Nord-Amèrica a mitjans del segle XIX. Cap al 1930 va ser objecte de millores genètiques destinades a dos usos totalment diferents: per una banda, es van millorar per desenvolupar aptituds farratgeres, i, per l'altra, per ser utilitzades com a cespitoses, és a dir, com a gespa. Floreix entre els mesos de maig i juliol.

1.3.2 La família de les lleguminoses

Aquest grup, també anomenat fabàcies, es considera el segon més important de les praderies, amb unes 19400 espècies repartides arreu del món. Donada la seva major capacitat d'acumulació d'aigua tant a les fulles com a les tiges en comparació amb les gramínies, les espècies pertanyents a aquesta família són més resistents a la sequera que aquestes segones, i això, juntament amb el fet d'enriquir el terra amb molta matèria orgànica i nitrogen (fixat gràcies a les associacions simbiòtiques de les seves arrels amb microorganismes fixadors de nitrogen com el gènere *Rhizobium*), les converteix en les preferides pels agricultors.

L'espècie utilitzada a aquest experiment és *Medicago sativa*, coneguda popularment com alfals. És la més conreada de totes les descrites anteriorment dintre de les lleguminoses, donat que és la més productiva, per la seva gran capacitat de rebrotament. És possible utilitzar-la en diversos usos, tant en fresc o en sec, degut al seu alt valor proteic. Presenta una gran capacitat de millorar les propietats físiques i químiques del terra i aconseguir mobilitzar els nutrients més localitzats en profunditat. Les seves arrels poden arribar fins a una profunditat màxima de 6 metres si el sòl presenta una bona estructura, però normalment es troben entre 2 i 3 metres. Les fulles són la part més nutritiva amb un 20% de nitrogen, en comparació amb les tiges que només presenten

un 10%. Normalment creixen entre 6 i 7 mesos a l'any, i a partir del quart o el cinquè, si les condicions d'aigua ho permeten, solen començar a florir normalment al mes de maig. Es desenvolupa bé als llocs temperats càlids amb sòls alcalins, amb una baixa salinitat, ja que és molt sensible a aquestes variables. Té preferència pels sòls profunds i ben drenats, tot i cultivar-se a una àmplia variabilitat de sòls. L'alfals és una planta originària d'Àsia Menor i el sud del Caucas, comprnent des de Turquia, Irak, Iran, Síria, Afganistan fins al Pakistan. Va ser introduïda a Grècia pels perses i d'allà va passar a Itàlia al segle IV aC. Gràcies als àrabs es va estendre el seu cultiu arreu del Nord d'Àfrica, arribant fins a la Península Ibèrica, des d'on es va distribuir per tota Europa. Floreix entre els mesos d'abril i octubre.

1.3.3 Les fòrbies

Amb aquest terme es designen les espècies dicotiledònies no lleguminoses. Els sistemes agrícoles ecològics no permeten l'ús de vitamines de síntesi, minerals i metabòlits secundaris amb efectes biocides per tal de minimitzar la concentració d'aquests compostos artificials en l'alimentació animal. Per això s'han hagut de recuperar altres mètodes per combatre les plagues i maximitzar la producció sense l'ús de fertilitzants químics i altres substàncies nocives pel medi ambient. Aquí és on entren en joc plantes com la xicoira (*Cichorium intybus*), la qual compta amb una elevada concentració de proteïnes, vitamines i minerals, el que afavoreix la lluita contra malalties i patògens a les espècies que comparteixen el camp de sembra, a més de reduir la quantitat de metalls pesants (alguns d'ells micronutrients) presents al sòl mitjançant la seva absorció (Høgh-Jensen et al, 2009).

En aquest cas s'ha utilitzat l'espècie *Cichorium intybus*, també xicoira o xicoira del cafè, és una herba perenne de la família Asteraceae, la qual compta amb una llarga història d'utilització arreu del món, tant per amanida com per additiu o substitut del cafè, a més d'usos medicinals. Les seves arrels són riques en inulina, un polisacàrid alternatiu a la sacarosa, i les concentracions de carbohidrats en les mateixes són fermentades per a la producció d'etanol. Tot i tenir una gran distribució com a flora local a diferents països d'Europa, on es va originar, però com a farratge és un cultiu relativament nou. La gran part de millores fetes dintre de l'espècie s'ha portat a terme a Nova Zelanda. Com a farratge està indicada per conrear-la a sòls amb bon drenatge amb un pH sobre 5.5 o major. Les seves arrels són relativament profundes, el qual proporciona certa tolerància a la sequera i l'alta absorció de minerals. L'anomenada xicoira de fulles si es gestiona de manera adequada, pot ser similar al valor nutritiu de l'alfals, però la concentració de coure i zinc és superior. És un farratge molt desitjable pel bestiar, i ara s'està estudiant la seva concentració en tanins,

els quals poden reduir el risc per infecció de nematodes en el bestiar. Amb temperatures càlides a la primavera es produeix un gran nombre de fulles de la corona, però a finals d'aquesta es comencen a desenvolupar les flors. És durant aquesta època quan les plantes poden arribar a aproximadament 1'5 metres, sinó han estat pasturades. Floreix entre els mesos de juny i novembre.

1.4 Concepte de “mala herba”

Si es parla des d'un punt de vista botànic, no existeix el concepte de mala herba. Aquest concepte s'ha d'entendre des de la visió dels agricultors, dedicats a la producció de plantes per a un aprofitament humà, ja sigui per alimentació, jardineria, medicina o ramaderia i amb un benefici econòmic associat. El principal problema és que no existeix cap característica objectiva que permeti classificar a una planta com a mala herba. És un concepte antropocèntric, el que el fa subjectiu (García Torres i Fernández-Quintanilla, 1991).



Figura 3: Detall d'una parcel·la de xicoira (*Cichorium intybus*) amb una invasió de males herbes (*Lactuca serriola*, *Capsella bursa-pastoris* i *Chenopodium bonus-henricus*)

Hi ha diferents definicions recollides per García Torres i Fernández-Quintanilla (1994) segons el punt de vista:

- Punt de vista antropocèntric:
 - Plantes fora de lloc o que creixen a llocs no desitjats, competint amb l'home per la possessió del sòl.

- Plantes que arriben a ser perjudicials o indesitjables en indrets i temps determinats.
- Espècies de plantes els individus dels quals sovint s'ubiquen allà on interfereixen amb els objectius de l'empresari.
- Tota aquella planta o vegetació que interfereix amb els objectius o les necessitats de l'home.
- Punt de vista ecològic:
 - Plantes pioneres de la successió secundària; un camp cultivat, infestat de males herbes, és un cas especial.
 - Espècies oportunistes que segueixen a l'alteració humana de l'hàbitat.
 - Plantes espontànies i persistents als hàbitats que estan contínuament alterats per l'home.
- Punt de vista mixt:
 - Plantes adaptades a proliferar en hàbitats alterats per l'home i que interfereixen d'alguna manera amb les activitats humanes.
 - Plantes que creixen sempre o de forma predominant en situacions marcadament alterades per l'home i que resulten no desitjables per ell en un lloc i moment determinats.

Segons el seu cicle vital, es diferencien tres tipus de males herbes:

1. Anuals: Només viuen durant una temporada, ja que creixen ràpidament i la seva duració és molt curta. La gran majoria desenvolupa el seu cicle vital durant la primavera i l'estiu, produint els fruits al final d'aquest últim, o com a molt, a principis de tardor. Així, disseminen les seves llavors abans de que es porti a terme la collita de la plantació on es troben, assegurant la seva dispersió i persistència. Solen créixer a llocs on no hi ha plantes perennes, ja que aquestes suposen una gran competència contra elles i acaben per desaparèixer. Tenen una persistència molt elevada degut al seu gran potencial disseminador, com la rosella (*Papaver rhoeas*), la qual produeix una mitjana de 50000 a 60000 llavors cada any. A més, altres espècies com els sarronets de pastor (*Capsella bursa-pastoris*) només germina quan es troba a les capes superiors del terra, pel que, encara que aquestes es soterrin, quan l'agricultor remou la terra per conrear, tornen a sortir i germinen. Formen part d'aquest grup les roselles (*Papaver rhoeas*) i els quenopodis (*Chenopodium album* i *Chenopodium vulvaria*, entre d'altres), voraçs consumidors de nitrogen.
2. Biennals: Es desenvolupen durant dues temporades, a la primera es dona el seu creixement, mentre que a la segona es produeixen les flors i els fruits. No és gaire habitual trobar aquestes espècies com la resta, però poden ser freqüents als camps de cultiu, com els cards (*Cirsium* sp.) o la ravenissa blanca (*Diplotaxis erucoides*). La seva capacitat de

resistència també es basa en una producció molt gran de llavors; els cards biennals poden produir al voltant de 20000 llavors per cada planta.

3. Perennes: El seu cicle vital comprèn moltes temporades, gràcies a que totes elles compten amb diversos recursos, els quals permeten la seva supervivència de manera relativament fàcil durant anys. Un d'aquests recursos, com als casos anteriors, és l'enorme producció de llavors per planta, com les del gènere *Senecium* (3000-20000 llavors per planta) o el gènere *Plantago* (2500-13000 llavors per planta). Un altre mètode seria el desenvolupament d'altres formes de reproducció vegetal, com les tiges soterrànies perennes o rizomes (*Cynodon dactylon* o *Cirsium arvense*), les tiges reptants reproductores o estolons (*Rubus ulmifolium* o *Ranunculus repens*) o les tiges soterrànies reproductores o bulbs (gènere *Allium*). Aquests mètodes especials de reproducció representen una plaga contínua pels agricultors, els quals gasten molts esforços i medis econòmics per tal d'eliminar-les.

1.5 L'experiment

Aquest projecte es va realitzar dintre de l'àrea de Biologia Animal, Biologia Vegetal i Ecologia (BABVE) de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), de manera conjunta amb el Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (CTFC), en el marc de desenvolupament del projecte "Optimització de recursos i funcions dels ecosistemes en la prevenció de la contaminació per residus ramaders (OPS), finançat pel Ministerio de Medio Ambiente (MMA).

El projecte OPS avalua el potencial agronòmic i mediambiental dels cultius farratgers polifits des d'un enfocament multifuncional, intentant descriure els seus beneficis en els béns i serveis dels agrosistemes com són la seva productivitat, l'eficiència en l'ús dels nutrients, o la protecció contra plagues o males herbes.



Figura 4: Cobertes vegetals i activitats al moment del dall.

1.6 Objectius del projecte

Com a principal, l'objectiu del present estudi és descriure la comunitat de males herbes en el camp de l'OPS i avaluar la possible resistència a la invasibilitat en els cultius amb una diversitat sembrada més elevada enfront els sistemes de monocultius més tradicionals.

De manera més específica, es pretén elaborar un estudi tant qualitatiu com quantitatiu de la presència de males herbes als sistemes agrològics, comparant diversos camps de cultiu, des de monocultius de tres espècies diferents fins a cultius mixtes d'aquestes mateixes tres espècies (tant amb la mateixa proporció de sembra com amb una espècie dominant). D'aquesta manera es podrà determinar quines són les espècies (o combinacions d'aquestes) més resistents a la invasió d'arvenses per poder establir una possible protecció davant d'aquestes i afavorir l'augment de la productivitat farratgera.

2. Materials i mètodes

2.1 Localització i descripció de la zona d'estudi

L'àrea on es va realitzar l'experiment forma part de la Plana de Lleida, la qual es troba situada a la Depressió Central Catalana, limitant al nord amb els Pirineus, a l'est amb la Serralada Transversal i a la vessant sud amb la

Serralada Prelitoral, a un municipi de la província de Lleida i comarca d'Urgell, anomenat Castellnou d'Ossó. Les seves coordenades són 41° 46' N, 1° 8' E, amb una altitud de 353 m.

El clima mediterrani continental sec és el predominant a la zona, amb una distribució irregular de les pluges, amb dues petites acumulacions a la primavera i la tardor i un mínim anual. El rang de temperatures parteix des dels 4°C com a mínima als mesos de gener i desembre fins a uns 25-26°C entre els mesos de juliol i agost, els més calorosos. El període estival és molt sec, amb un mínim molt marcat al mes de juliol, semblant al del mes de febrer, i amb un clar màxim durant el mes de maig. Aquesta zona només es troba lliure de gelades dels mesos de maig a setembre. A la figura 3 es mostren la temperatura i la precipitació mitjanes mensuals durant el període 1971-2000 a la zona descrita anteriorment. Quan els valors de precipitació es troben per sota els valors de temperatura, es tracta d'un període àrid, mentre que, si estan per sobre, acostumen a ser mesos plujosos. Aquest diagrama segueix el mètode de Gaussen, on l'escala dels valors de les precipitacions és el doble de l'escala dels valors de la temperatura.

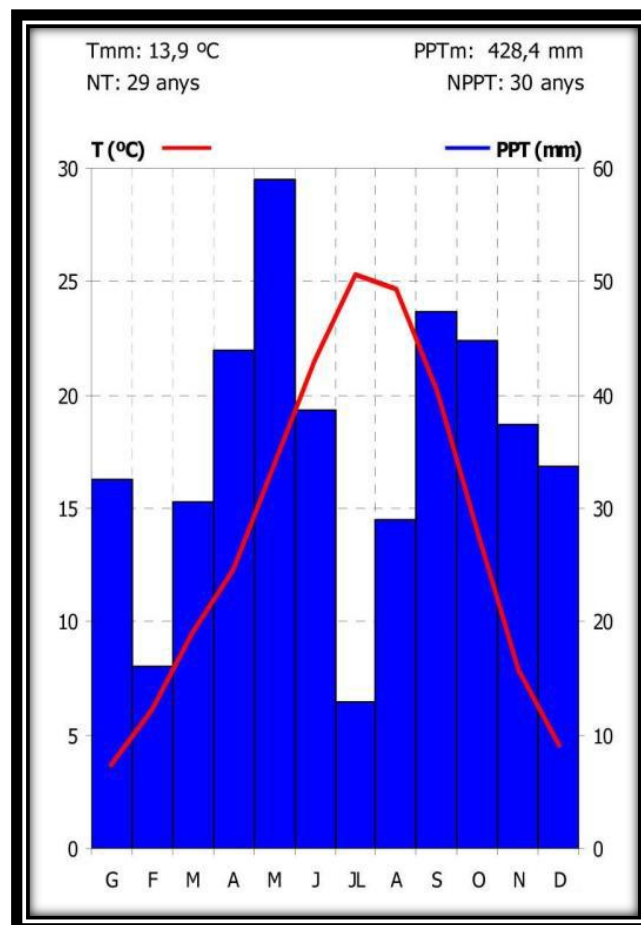


Figura 5: Diagrama ombrotèrmic de la zona. Font Generalitat de Catalunya.

Pel que fa a la litologia i la geomorfologia, els afloraments geològics responen a agrupacions de gresos i argiles d'edat terciària i d'origen continental, disposats en capes horitzontals.

La vegetació potencial és el carrascar continental (*Quercetum rotundifoliae*), tot i predominar les terres de conreu, principalment monocultius de cereals de secà (ordi, blat).

Els conreus predominants d'aquesta zona són els cereals de secà, i es van alternant de manera esporàdica amb fruiters de secà i oliveres. És una zona amb una gran aptitud per l'agricultura, donada principalment per la seva morfologia suau o lleugerament ondulada, el que no dona grans problemes de pendent.

Classe	Índex d'àrea o d'extensió					
	Àrea (ha)		Nombre de taques		Mida mitjana	
	1992	2002	1992	2002	1992	2002
Bosc d'esclerofil·les	436,9	377,1	135,0	89,0	3,2	4,2
Bosc de caducifolis	37,0	28,6	30,0	20,0	1,2	1,4
Bosc d'aciculifolis	4,6	6,5	2,0	4,0	2,3	1,6
Bosquines i prats	1.120,1	1.378,4	400,0	387,0	2,8	3,6
Sòl amb vegetació escassa	191,3	128,8	119,0	62,0	1,6	2,1
Fruiters secà	464,8	506,2	165,0	136,0	2,8	3,7
Fruiters regadiu	50,2	55,2	11,0	11,0	4,6	5,0
Conreus herbacis secà	27.420,8	27.186,0	31,0	34,0	884,5	799,6
Conreus herbacis regadiu	222,1	163,6	85,0	96,0	2,6	1,7

Taula 2: Índex d'ecologia del paisatge. Font www.catpaisatge.net

2.2 Disseny experimental

Per a la realització del projecte es va utilitzar un disseny experimental anomenat SIMPLEX (Kirwan et al., 2007; Kirwan et al., 2009), en el qual les diferents cobertes vegetals ofereixen valors d'equitativitat creixent, a través de la variació de la contribució relativa dels seus components (Figura 3). Aquest disseny analitza la contribució de les diferents espècies estudiades a les variables. També permet modelitzar l'aportació de les interaccions entre les espècies a partir de la següent expressió:

$$y = \sum_i \beta_i P_i + \sum_{ij} \delta_{ij} P_i P_j + \alpha M$$

On:

y : variable resposta estudiada

P_i : proporció sembrada o actual de les i espècies de la barreja farratgera

$P_i P_j$: interacció entre dues espècies P_i i P_j donades

M : densitat de sembra

B_i , δ_{ij} i α : coeficients de les respectives variables.

Es pot incloure al model l'equitativitat calculada amb la fórmula de Simpson, la qual recull la suma de totes les interaccions entre espècies dos a dos:

$$E = \frac{2S}{S-1} \sum_{i < j} P_i P_j$$

El tractament de diversitat incloïa monocultius i barreges de tres espècies: una gramínia (*Festuca arundinacea*), una lleguminosa (*Medicago sativa*), ambdues d'ampli ús a la península, i una fòrbia (*Cichorium intybus*), comú a Austràlia i EEUU però poc utilitzada a la península malgrat el seu origen mediterrani. La composició de les cobertes sembrades va seguir un disseny símplex (Kirwan *et al.*, 2009), incloent els tres monocultius, tres barreges dominades per cadascuna de les tres espècies (80% en sembra) i una barreja centroid, amb una proporció equitativa de cada component. Aquest disseny es va duplicar a dues densitats de sembra, escollides d'acord amb les dosis aplicades a la zona i amb la densitat baixa contenint un 60% de l'alta, i es va triplicar (per a posteriors tractaments de fertilització) donant un total de 42 parcel·les de 12 x 12 m² totalment aleatoritzades.

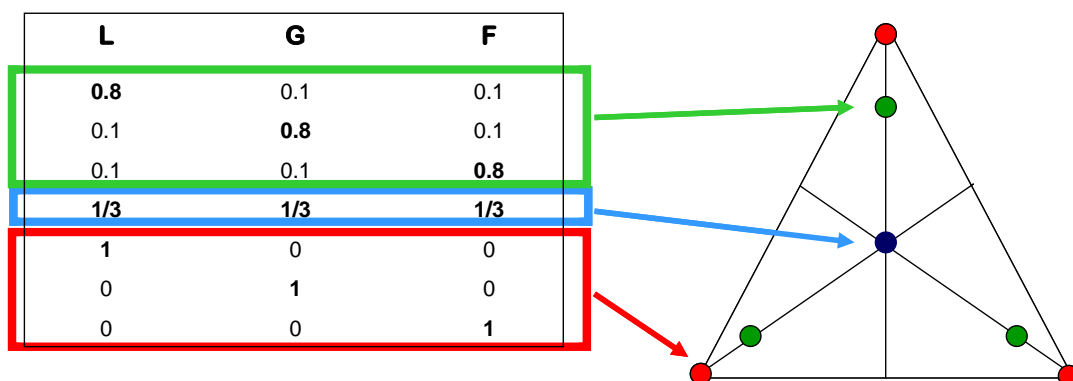


Figura 6: Representació esquemàtica del disseny experimental. Font CTFC.

La figura 6 mostra les proporcions de les tres espècies sembrades durant els tres anys que va durar l'experiment, permetent configurar els tractaments de diversitat, i de les propietats que aquesta confereix als sistemes. Cada fila de la

matriu representa una fórmula de sembra diferent, indicant la proporció dels tres components de la coberta; i cada punt del triangle representa la proporció de les tres espècies, des dels vèrtexs, amb una composició monoespecífica, fins al centroide, amb una proporció equitativa dels tres components.



Figura 7: Vista general de la parcel·la experimental, en la qual es poden apreciar les diferents cobertes vegetals associades als diversos tractaments.

Cal dir que densitats de cada espècie van manifestar canvis al llarg de l'experiment. La modelització de la variable estudiada en funció de les proporcions inicials (de sembra) permet de respondre'ns sobre els efectes que té la diversitat sembrada sobre la variable estudiada al final de l'experiment, integrant els efectes en el mateix moment de la presa de dades i els efectes històrics acumulats des de la sembra.

A cadascuna de les parcel·les es duia a terme un seguiment de la vegetació mitjançant transsectes. Era necessari analitzar en més detall la successió de les comunitats vegetals i la composició específica associada als diferents tractaments establerts, pel que es van realitzar transsectes associats a cada dall de la vegetació, pel qual es recollien dades de composició vegetal cada 0.5 m al llarg dels 12 m de cada parcel·la.



Figura 8: Realització d'un transecte per la determinació de la composició específica.

Es van realitzar quatre dalls durant l'any 2010, des de l'abril fins al setembre.

Mitjançant una presa de mostres de vegetació per l'anàlisi de la composició vegetal i química (exportació de nutrients), es mostrejava en un quadrat fixe de $50 \times 50 \text{ cm}^2$ (a 5 cm d'alçada) al mig de cada parcel·la per tal de determinar la biomassa total produïda i la composició específica, mitjançant la identificació de les espècies de la mostra. Al laboratori, un cop separades per espècies i prèviament pesades per obtenir el pes fresc, s'assecaven a 60°C fins perdre tota la seva humitat. Posteriorment es tornaven a pesar per aconseguir el pes sec i calcular així la producció per espècie i total.



Figura 9: Presa de mostres vegetals ($50 \times 50 \text{ cm}^2$).

Per quantificar la producció total es dallava una secció de 9.36 m² de cada parcel·la, amb un ample corresponent a la segadora comercial (1.56 m), separant el farratge tallat al llarg de 6 m pel seu pesat mitjançant una bàscula romana, de forma immediata per evitar pèrdues d'humitat. Posteriorment, es prenia una mostra representativa de cada parcel·la per fer diverses anàlisis al laboratori.



Figura 10: Vista de la secció dallada per quantificar la producció total, amb l'amplada d'una segadora comercial (1.56 m).

3. Resultats i discussió

3.1 Descripció de la comunitat de males herbes en els camps de cultiu mixtes estudiats

La biomassa de males herbes dintre dels camps de cultiu és en general baixa, tot i que, les cobertes en les que s'obtingueren les biomasses mitjanes més elevades van arribar al 29% respecte la biomassa total. Les comunitats de males herbes que trobem al camp experimental responen a tres elements claus:

1. El sòl en el qual es troba la parcel·la presenta una certa salinitat.
2. Prèviament a l'establiment de l'experiment, a la parcel·la s'hi conreaven cereals d'hivern, com l'ordi i el blat.

3. A la zona on es troba la parcel·la, situada a les terrasses al·luvials del riu Sió, hi abunden els conreus farratgers d'estiu regats amb l'aigua d'aquest riu.

Aquests elements determinen en gran mesura el banc de llavors i les espècies de males herbes que arriben a la parcel·la experimental. D'una banda, les espècies que hi són més abundants són les adaptades a la salinitat, principalment de la família de les quenopodiàcies, de caràcter nitro-halòfil, que es desenvolupen principalment a l'estiu. El contacte amb comunitats arvenses de regadiu fa que hi abundin altres espècies arvenses, no tan clarament halòfiles, associades a conreus d'estiu, que inicien el seu cicle vital més entrada la primavera i apareixen als dalls posteriors. D'altra banda, hi trobem espècies característiques de comunitats arvenses messícoles, associades als conreus de cereal d'hivern, amb espècies que floreixen a la sortida de l'hivern, com *Fumaria officinalis*, o a la primavera, com *Papaver rhoeas*, per acabar el seu cicle vital amb el del cultiu de cereal.

Per últim, tot i que en menor abundància, apareixen al camp espècies de les comunitats ruderals pròpies dels camins, com *Hordeum murinum*, *Anacyclus clavatus* o *Malva sylvestris*.

Per tal de descriure les espècies de plantes no sembrades que es van trobar als camps de cultiu mixt treballat a l'experiment, es llisten a continuació agrupades per famílies:

Gramínies	<i>Avena sterilis</i> <i>Bromus hordeaceus</i> <i>Hordeum murinum</i>
Lleguminoses	Cap espècie detectada a banda de la sembrada, <i>Medicago sativa</i>
Asteràcies o compostes	<i>Anacyclus clavatus</i> <i>Conyza bonariensis</i> <i>Crepis vesicaria</i> <i>Lactuca serriola</i> <i>Senecio vulgaris</i> <i>Sonchus oleraceus</i> <i>Taraxacum officinale</i>
Quenopodiàcies	<i>Atriplex patula</i> <i>Beta vulgaris</i> <i>Chenopodium album</i> <i>Chenopodium bonus-henricus</i> <i>Chenopodium vulvaria</i> <i>Kochia scoparia</i>
Papaveràcies	<i>Fumaria officinalis</i> <i>Papaver rhoeas</i>
Poligonàcies	<i>Polygonum aviculare</i> <i>Rumex crispus</i>
Brassicàcies o crucíferes	<i>Capsella bursa-pastoris</i>

Convolvulàcies	<i>Convolvulus arvensis</i>
Escrofulariàcies	<i>Kickxia spuria</i>
Lamiàcies	<i>Lamium amplexicaule</i>
Malvàcies	<i>Malva sylvestris</i>
Plantaginàcies	<i>Plantago lanceolata</i>
Verbenàcies	<i>Verbena officinalis</i>
Violàcies	<i>Viola arvensis</i>

Taula 3: Relació de les diferents famílies aparegudes al camp d'estudi, amb les espècies corresponents a cadascuna d'aquestes.

3.1.1 La família de les gramínies

Dintre de la família de les gramínies, a l'estudi portat a terme, s'observen tres gèneres: *Avena sterilis*, *Bromus hordeaceus* (també *Anisantha hordeaceus*), i *Hordeum murinum*.

- L'*Avena sterilis*, o cugula de manera popular, té el seu hàbitat a herbassars de llocs incults, apareixent de manera molt comú als marges dels camins i als herbassars dels camps. Floreix a la primavera.
- El gènere *Bromus* inclou unes 100 espècies anuals o perennes, distribuïdes a regions temperades arreu del món, de les quals algunes són bones plantes farratgeres d'hivern i primavera. Al camp s'han trobat exemplars de *Bromus hordeaceus*, *Bromus madritensis* i *Bromus Rubens*, tres espècies pròpies de comunitats ruderals, marges de camins, herbassars i camps sense cultivar.
- L'anomenat *Hordeum murinum*, o, comunament, cua d'euga o fletxes, habita a voreres de camins, camps, horts i murs de manera molt freqüent. L'època de floració és bastant curta, des de l'abril fins al juny.

3.1.2 El grup de les fòrbies

El grup de les fòrbies, denominació sota la que incloem les dicotiledònies no lleguminoses, engloba un conjunt bastant ampli i divers d'espècies, en el qual es troben incloses la gran majoria de les males herbes presents al camp. En total, han aparegut 25 espècies classificades en 12 famílies diferents. Les famílies, per ordre d'importància, serien: Asteràcies o compostes, quenopodiàcies, papaveràcies, poligonàcies, brassicàcies o crucíferes, convolvulàcies, escrofulariàcies, lamiàcies, malvàcies, plantaginàcies, verbenàcies i violàcies.

La família més nombrosa en nombre d'espècies és la de les asteràcies o compostes, amb set espècies, totes de diferents gèneres entre si: *Anacyclus*

clavatus, *Conyza bonariensis*, *Crepis vesicaria*, *Lactuca serriola*, *Senecio vulgaris*, *Sonchus oleraceus* i *Taraxacum officinale*. La següent més important seria la de les quenopodiàcies, amb sis membres i quatre gèneres: *Atriplex patula*, *Beta vulgaris*, *Chenopodium album*, *Chenopodium bonus-henricus*, *Chenopodium vulvaria* i *Kochia scoparia*. Després hi ha dos famílies amb dos representants cadascuna, la de las papaveràcies, amb *Fumaria officinalis* i *Papaver rhoeas*, i la de las poligonàcies, amb *Polygonum aviculare* i *Rumex crispus*; amb gèneres diferents per les dues famílies. Per últim, hi ha vuit famílies que només compten amb un exemplar de cadascuna: les brassicàcies o crucíferes amb *Capsella bursa-pastoris*, les convolvulàcies amb *Convolvulus arvensis*, les escrofulariàcies amb *Kickxia spuria*, les lamiàcies amb *Lamium amplexicaule*, les malvàcies amb *Malva sylvestris*, les plantaginàcies amb *Plantago lanceolata*, las verbenàcies amb *Verbena officinalis* i les violàcies amb *Viola arvensis*.

A continuació es detallarà una petita explicació de cadascuna d'aquestes espècies, separades també per famílies:

3.1.2.1 La família de les asteràcies o compostes

- *Anacyclus clavatus* és l'anomenada popularment com camamil·la boja o panigroc, i pertany a la família de les asteràcies o compostes. El seu hàbitat es troba a les vores de camps i camins, a més dels camps de secà, a sòls lleugerament salins i nitròfils. Floreix d'abril fins al juny.
- *Conyza bonariensis* és una planta d'origen americà que viu a camps i camins, llocs remoguts i pasteretes poc cuidades. Floreix des del juliol fins al novembre.
- *Crepis vesicaria* és l'anomenat cap roig, habitant de camps i zones ruderals, a més de vores de camins, herbassars i llocs alterats. Floreix del març al juliol.
- L'enciam bord és el nom popular de la *Lactuca serriola*, i sol habitar a herbassars ruderals i marges de camins. La seva floració és gairebé estival.
- *Senecio vulgaris* és l'anomenat citró en la seva forma popular, amb hàbitat a camps i camins, amb propietats medicinals així com tòxiques. La seva floració es pot donar a qualsevol època de l'any, d'aquí que també se la pot anomenar flor d'onze mesos.
- El lletsó és el nom vulgar de *Sonchus oleraceus*, una herba ruderal amb hàbitat a camps de conreus, camins i herbassars nitròfils. És una planta invasora, i es comporta com a tal. Pot florir durant tot l'any, com l'anterior.
- La coneguda dent de lleó respon al nom científic de *Taraxacum officinale*, una planta amb diversos hàbitats, des de pastures i vores de

camins fins a herbassars una mica humits i nitrificats. Compta amb usos alimentaris i medicinals. Floreix del març fins a l'agost.

3.1.2.2 La família de les quenopodiàcies

- L'*Atriplex patula* és una planta també comestible o usada per l'alimentació, i viu a camps de secà i cultius normalment de sòls humits i també una mica salins. La seva època de floració comprèn des de juliol fins a novembre.
- La blada, de nom científic *Beta vulgaris*, és una planta normalment cultivada, però de vegades pot aparèixer a voreres de camins i erms, també de sòls salins. La varietat cultivada és comestible i també medicinal. La seva floració passa pels mesos des d'abril fins a setembre.
- El *Chenopodium album* rep el nom de blet blanc en forma vulgar, i és molt comú a camps de conreu de secà, voreres de camins, carreteres i llocs alterats, podent arribar fins al metre i mig d'alçada. Floreix des del juliol fins al desembre.
- El *Chenopodium bonus-henricus* s'anomena blet bord o espinac de muntanya, tot i semblar-se més a les bledes, i normalment vivia cultivat a jardins, però ara es considera més mala herba. Se li poden donar tant usos alimentaris com medicinals. Floreix durant l'estiu, desde juny fins a setembre.
- El blet pudent o herba pudenta és el nom popular de *Chenopodium vulvaria*, un habitant de camps de conreu, voreres de camins i també llocs remoguts com els solars de les ciutats. L'època de floració va des del maig fins a l'octubre.
- La *Kochia scoparia* rep el nom de bellveurer o mirambell de jardí, i és un tipus de planta ruderal i arvense habitant d'horts, erms, vores de camins i comunitats nitro-halòfiles. Floreix només des de l'agost fins a l'octubre.

3.1.2.3 La família de les papaveràcies

- La *Fumaria officinalis* o colomina habita als camps de conreu i les vores de camins, de vegades de manera molt abundant. Té una època de floració molt àmplia, des de febrer fins a setembre.
- *Papaver rhoeas* rep diversos noms de manera popular, com babol, rosella, badabadoc, gall... És molt comú a sembrats i voreres de camins. Floreix del març fins a l'agost.

3.1.2.4 La família de les poligonàcies

- *Polygonum aviculare* compta amb diversos noms de manera popular, sent exemples centinòdia, passacamins o herba de cent nusos. Es tracta

d'una herba ruderal, habita als camps de secà i a les vores de camins arrosegant-se pel terra, i té propietats medicinals. Floreix des de l'abril fins a l'agost.

- L'arengada de porc, llengua de bou o *Rumex crispus* en la seva forma en llatí és una herba ruderal pròpia de llocs alterats, vores de camins i herbassars humits, amb propietats medicinals però pot arribar a ser tòxica. Floreix durant poc temps, des del maig fins al juliol.

3.1.2.5 La família de les brassicàcies o crucíferes

- *Capsella bursa-pastoris* és una planta anual que es troba tant a cultius de secà com de regadiu, a més d'a terrenys remoguts i vores de camí. La seva floració comprèn tots els mesos de l'any.

3.1.2.6 La família de les convolvulàcies

- *Convolvulus arvensis* és l'anomenada campaneta o corriola, i viu a les comunitats arvenses i ruderals amb sòls lleugerament salins. Floreix des de l'abril fins a l'octubre.

3.1.2.7 La família de les escrofulariàcies

- *Kickxia spuria* viu a terrenys remoguts, vores de camí i cultius, tant de secà com de regadiu. Floreix des de juny fins a octubre.

3.1.2.8 La família de les lamiàcies

- *Lamium amplexicaule* és l'anomenat floruví o tinya negra, i viu a camps de conreu i camps de conreu. La floració es dona a la primavera, des del març fins al maig.

3.1.2.9 La família de les malvàcies

- La malva té el mateix nom popular que llatí, i viu a voreres de camps i camins de manera ruderal. És comestible i medicinal. La seva floració va des del març fins a l'octubre.

3.1.2.10 La família de les plantaginàcies

- *Plantago lanceolata* agafa el nom de cinc-venes a la nomenclatura popular, així com també herba de cinc costures, i habita a prats,

pastures seques i comunitats nitròfiles. Floreix durant la primavera i l'estiu, des d'abril fins a octubre.

3.1.2.11 La família de les verbenàcies

- La *Verbena officinalis* és el nom científic de la verbenà o barbera, la qual habita a camps i vores de camins, amb usos medicinals. Floreix des del maig fins a l'octubre.

3.1.2.12 La família de les violàcies

- La *Viola arvensis* té el nom de pensament de camp i viu a diversos llocs ruderalitzats, com vores de cultius, camps abandonats o marges de camins, i compta amb propietats medicinals. Té una floració curta, des de l'abril fins al juny.

3.2 Temporalitat de les espècies

La majoria de les espècies pertanyents a la comunitat de males herbes estudiada compta amb un cicle anual, tot i haver-hi alguna excepció, com *Sonchus oleraceus*, *Beta vulgaris* i *Viola arvensis*, les quals poden ser també biennals; o també *Lactuca serriola*, *Taraxacum officinale*, *Chenopodium bonus-henricus*, *Rumex crispus*, *Convolvulus arvensis*, *Malva sylvestris* i *Verbena officinalis*, perennes totes elles. Tot i això, cada espècie presenta el seu cicle òptim particular. A la figura 7, on es representa la proporció mitjana de males herbes aparegudes als camps experimentals durant el seguiment al llarg dels diferents dalls realitzats l'any d'estudi.

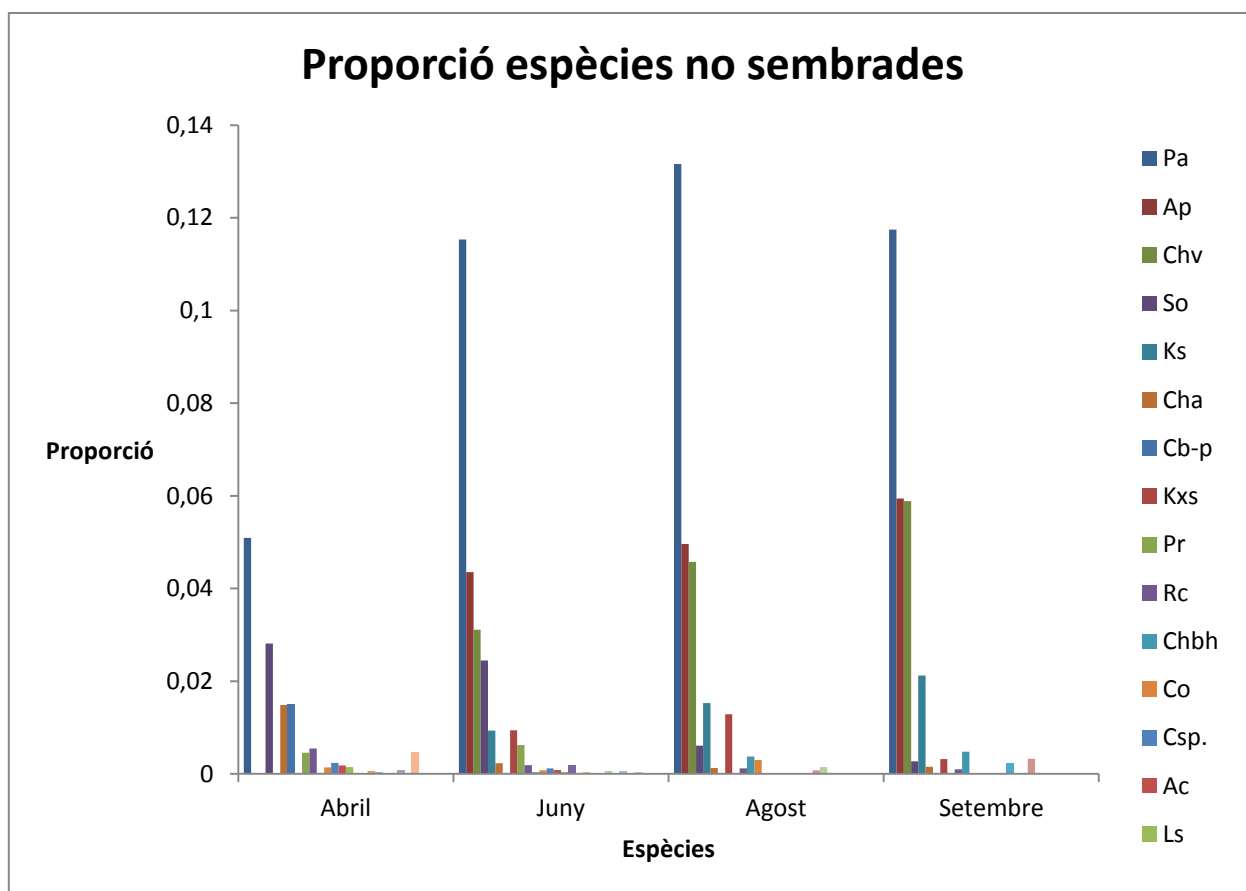


Figura 11: En aquest gràfic es pot veure la proporció mitjana d'espècies més abundants de males herbes aparegudes durant els mesos en els quals es va realitzar el seguiment. Aquestes proporcions s'han obtingut respecte les espècies sembrades, en base als transsectes de recompte d'espècies. Pa: *Polygonum aviculare*; Ap: *Atriplex patula*; Chv: *Chenopodium vulvaria*; So: *Sonchus oleraceus*; Ks: *Kochia scoparia*; Cha: *Chenopodium album*; Cb-p: *Capsella bursa-pastoris*; Kxs: *Kickxia spuria*; Pr: *Papaver rhoeas*; Rc: *Rumex crispus*; Chbh: *Chenopodium bonus-henricus*; Co: *Conyza bonariensis*; Csp.: *Convolvulus arvensis*; Ac: *Anacyclus clavatus*; Ls: *Lactuca serriola*.

La figura 11 posa de manifest tant el pic de biodiversitat en males herbes obtingut, és a dir, el mostreig durant el qual van aparèixer més espècies d'arvenses, com el pic de biomassa, o quan aquesta comunitat presenta el seu valor més elevat dins del període estudiat. El mes on la biodiversitat va assolir el màxim valor correspon al mes de juny, on gairebé totes les espècies trobades compten amb alguna representació, seguidament de l'abril i de l'agost, mentre que al setembre es dona una baixada en la seva presència. Per contra, el mes en el què s'obté una major biomassa és l'agost, ja que, tot i tenir menys espècies que els dos mesos anteriors, les seves proporcions són molt més elevades, el que fa que contribueixin a l'augment de la biomassa obtinguda, seguit del setembre, el qual, tot i ser el més pobre en biodiversitat també compta amb una gran proporció de males herbes, seguit del juny i de l'abril en últim terme.

Com es pot observar al gràfic, l'espècie més abundant amb diferència és *Polygonum aviculare*, ja que es veu clarament com destaca sobre totes les altres en proporció a tots els mesos, seguida de *Atriplex patula* i de *Chenopodium vulvaria* en tercer lloc als mesos de juny, agost i setembre; mentre que a l'abril les espècies més comunes en segon i tercer lloc van ser *Sonchus olearaceus* i *Chenopodium album*, respectivament.

D'acord amb la presència d'espècies pròpies de les comunitats arvenses de caràcter més messícola (associades a conreus de cereal) o pròpies de conreus de regadiu d'estiu, trobem clares diferències entre el primer dall (o primers dos dalls) i els següents. Al primer dall, doncs, són comunes les espècies arvenses messícoles, pròpies dels cereals d'hivern, com *Veronica officinalis* o *Papaver rhoeas*. A partir de finals de primavera, és a dir, cap al segon dall, apareixen espècies com *Verbena officinalis* o *Convolvulus arvensis*, pròpies dels conreus d'estiu. Hi apareixen també totes les espècies de caràcter nitro-halòfil, que tenen una fenologia estiuenca, algunes de les quals allarguen el seu període de floració fins a l'últim dall.

D'altres espècies presenten, en canvi, una fenologia molt més insistent, sent presents a tots els dalls com ocorre amb *Polygonum aviculare*. Deixant de banda els seus trets fenològics, la seva morfologia fa que resisteixi més bé la pressió dels propis dalls, presentant un port pràcticament rastrer, que fa que l'individu es recuperi bé després del dall. També hi ha espècies, principalment del grup de les crucíferes i compostes que poden florir més d'un cop a l'any, sempre que les condicions ambientals els siguin propícies, com ocorre amb *Senecio vulgaris* o *Capsella bursa-pastoris*.

3.3 Produccions obtingudes en els cultius estudiats

La productivitat és un factor clau en la reducció de la invasibilitat de les cobertes sembrades (Picasso et al. 2008). La biomassa de les espècies sembrades afecta tant l'establiment d'espècies no sembrades com el seu desenvolupament. La producció total del 2010 de les cobertes experimentals mostrà una resposta significativa a la diversitat, tant en termes de matèria seca ($P=0.0002$) com expressada com a matèria fresca ($P=0.0002$). Si més no, cal tenir en compte que ens trobem al tercer any de desenvolupament de les cobertes i s'observa una baixa persistència de la xicòria, acompanyada d'una producció decreixent també de la festuca, fet probablement associat a l'esgotament del sòl. En aquestes condicions, la producció de l'alfals determina la resposta positiva a la diversitat (Figures 12 i 13).

Establint una mitjana entre les diverses parcel·les amb la mateixa comunitat sembrada durant tots els dalls realitzats a 2010, es pot observar la producció

total tant en pes fresc com en pes sec de cadascuna de les cobertes estudiades (figures 12 i 13).

A la figura 12 es pot veure clarament com les barreges superen en producció total (kg/ha) als monocultius, exceptuant els monocultius de lleguminoses, degut a què l'alfals és l'espècie més productiva d'aquest sistema.

Però si comparem els resultats de la resta de monocultius (Fa i Ci), podem observar com en aquests casos la producció o biomassa mitja entre cultius mixtes és molt superior a la producció de qualsevol dels anomenats monocultius (figures 12 i 13). Així, en general, els nostres resultats verificarien que els cultius amb una sola espècie són menys productius que els cultius mixtes on l'espècie sembrada en monocultiu produiria més en companyia d'altres.

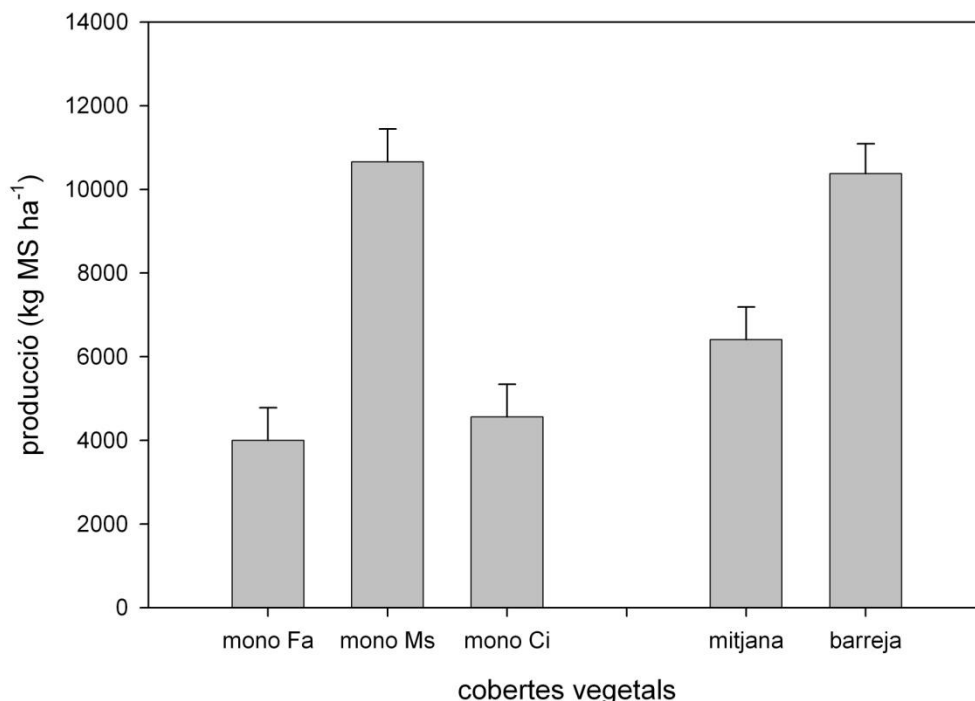


Figura 12: La gràfica superior mostra la biomassa mitjana obtinguda en kg de pes sec/ha, extreta dels valors de pes sec per cada tipus de coberta (mono=monocultius, dom=dominats per una espècie, o cent3=coberta amb màxima equitativitat de les espècies sembrades) a tots els dalls realitzats. Només s'ha tingut en compte el pes de les espècies sembrades.

La figura 13 reflexa la biomassa total obtinguda a cada dall tant de les males herbes com de les espècies sembrades en pes fresc.

En aquest cas, la biomassa resultant també atorga el major valor al monocultiu de *Medicago*, explicat, per una banda, per l'elevada producció d'aquesta espècie i per l'altra, per l'alt contingut en aigua de la mateixa, el que fa

augmentar en gran mesura el pes per hectàrea i superar la productivitat donada pel centroid, encara que sigui per poc.

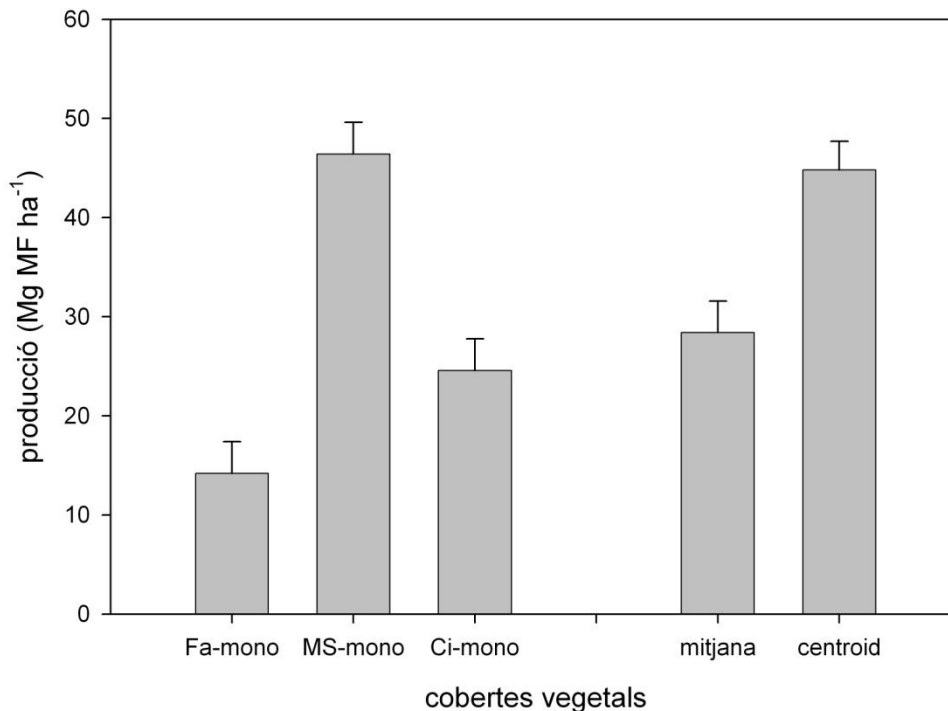


Figura 13: Aquesta representació fa referència a la biomassa total obtinguda en pes fresc en kg/ha, elaborada amb les dades de totes les cobertes, incloent de la mateixa manera tant les espècies sembrades com les de males herbes.

3.4 És la diversitat sembrada un component de resistència a la “invasibilitat”?

A la figura 14 es pot observar com a la quantitat de males herbes en relació amb les sembrades als monocultius és més gran que en el cas dels centroids. L'excepció la tenim en el monocultiu de gramínia. Aquest presenta una invasibilitat molt menor a la resta de monocultius. El comportament d'aquesta coberta el podríem explicar per la formació d'una estora contínua de *Festuca*, el qual impedeix que altres espècies puguin establir-se. En canvi, en les cobertes en les que aquesta espècie es presenta acompanyada, apareixen espais buits aprofitables per l'aparició de males herbes. L'efecte d'aquesta coberta fa que en comparar els valors promig obtinguts de biomassa d'espècies no sembrades pels monocultius *versus* el valor obtingut per la coberta més diversa (centroid de 3) no hi hagin diferències entre els dos valors (figura 14).

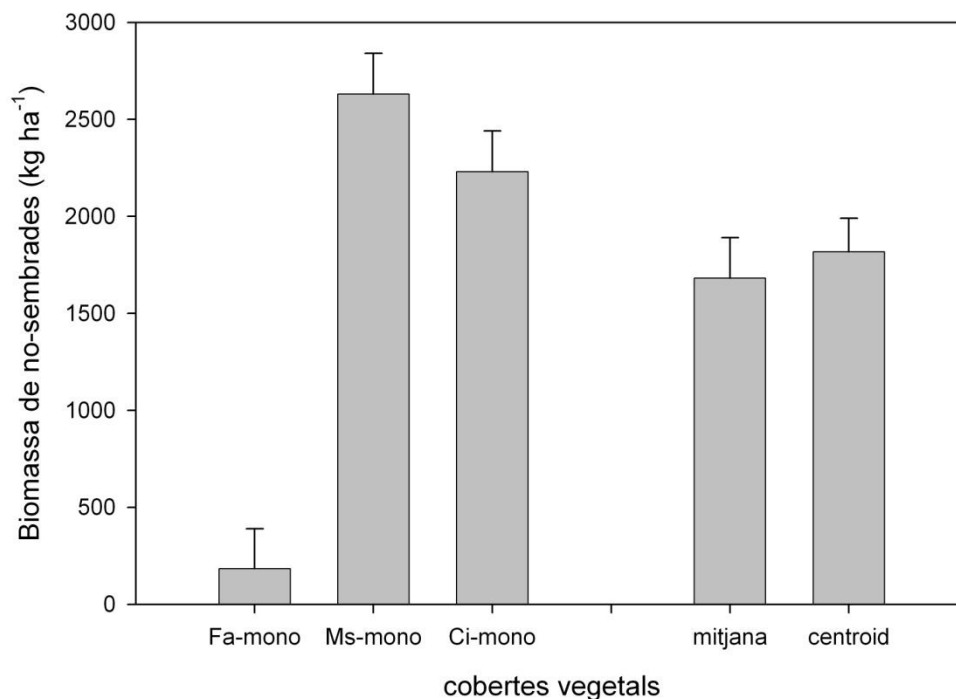
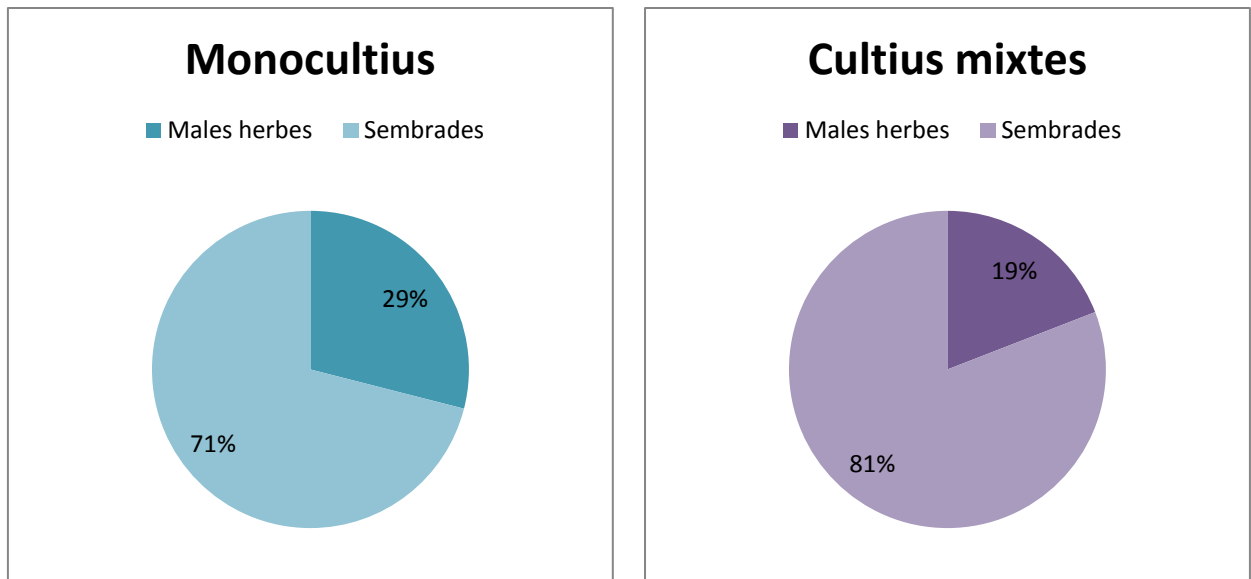


Figura 14: Biomassa de males herbes en kg de pes sec per ha⁻¹ segons el tipus de coberta (monocultius, mitjana de monocultius i el centroid de 3 espècies sembrades).

Si recordem però que la producció obtinguda (en kg de pes sec per ha) és superior en barreges que en monocultius (figura 14) de forma general, i ponderem els resultats obtinguts de biomassa de no-sembrades observariem la menor incidència d'aquestes comunitats en cultius mixtes. Aquest resultat verifica l'augment de producció lligat als cultius mixtes en front als monocultius estudiats.

Amb la mitjana obtinguda de la biomassa en pes sec de males herbes als monocultius i als cultius mixtes, vam obtenir el percentatge general d'aquestes respecte dels tipus de cultiu utilitzats (figures 15 i 16).

La representació de males herbes al conjunt de monocultius ascendeix a un 29% del total respecte un 19% en el cas dels cultius mixtes. Aquests gràfics posen de manifest una major resistència a la invasibilitat en els cultius mixtes davant dels monocultius, els quals tenen una tendència més elevada a la ocupació per espècies no desitjades que els cultius formats per barreges d'espècies sembrades.



Figures 15 i 16: Els dos gràfics superiors presenten els valors percentuals de biomassa de males herbes trobades respecte als d'espècies sembrades. Això ens podria donar una idea de la incidència en l'aparició de males herbes segons el tipus de cultiu i, per tant, de la seva resistència a la invasibilitat obtinguts tant pels monocultius (esquerra), com pels cultius mixtes (dreta). S'inclouen tant els centroids de 3 com els camps amb una espècie dominant.

3.5 Són les interaccions entre espècies iguals?

El disseny simplex permet la segregació de l'efecte individual de cada espècie de la coberta (efecte identitat) de l'efecte de la diversitat (Kirwan et al., 2007; 2009). D'altra banda, permet la modelització de la variable resposta en funció de les diferents interaccions entre les espècies de les cobertes.

A les figures 16 i 17 mostren el model elaborat per les interaccions entre *Festuca* i *Medicago* i entre *Festuca* i *Cichorium*, respectivament. La línia recta fa referència al model elaborat únicament amb els valors extrems dels monocultius (punts extrems), i que la barreja, coberta en la que estarien representades al 50% les espècies a les que es fa referència, presenta un valor promig dels dos monocultius. Dit d'una altra manera, sota el supòsit que no existeix un efecte de la diversitat, entesa en aquest cas com efecte de la interacció de les dues espècies analitzades. Aquest efecte de la diversitat quedaria recollit en la línia corba, on es representa el valor estimat en la modelització de l'efecte de la interacció.

A la figura 16 podem observar com sota la no existència d'un efecte de la diversitat, la coberta representada com 50% de *Festuca arundinacea* i 50% de *Medicago sativa* presentaria una biomassa de males herbes d'aproximadament uns 1500 kg MS/ha. Veiem però que segons el model, la interacció d'aquestes espècies descriu un efecte potencialment negatiu, reduint-se la biomassa d'espècies no-semblades fins a valors negatius. Tot i que el model s'hauria d'ajustar, aquests resultats podrien indicar que la interacció entre aquestes

dues espècies, *Festuca* i *Medicago*, proporcionaria unes condicions no facilitadores al creixement i/o entrada d'espècies no-sembrades, segurament per mecanismes de complementarietat.

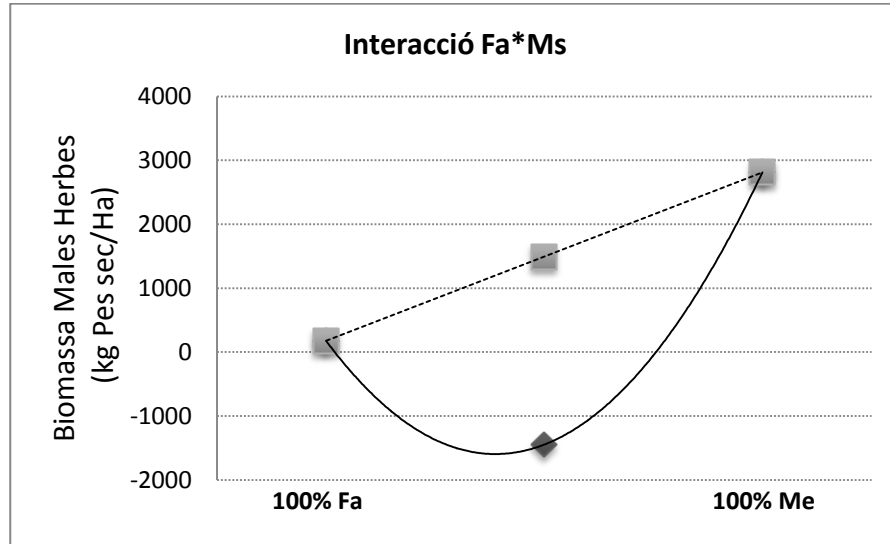


Figura 16: Model establert per la interacció entre *Festuca* i *Medicago* dintre d'una coberta formada per un 50% de cada espècie. Si no es considera l'efecte diversitat, la biomassa produïda de males herbes arriba a uns 1500 kg MS/ha; mentre que si la diversitat és un factor a tenir en compte, la complementarietat entre aquestes dues espècies impedeix la instal·lació o desenvolupament d'arvenses, pel seu efecte negatiu (-1500 kgMS/ha de males herbes).

A la figura 17, referit en aquest cas a les interaccions entre *Festuca arundinacea* i *Cichorium intybus*, veiem com la combinació d'aquestes espècies presenta un comportament diferent al cas anterior (figura 16), ja que, en aquest segon cas les espècies en monocultiu, ofereixen més resistència a la invasibilitat que juntes al 50%. La seva barreja mostra valors positius envers la instal·lació d'espècies alienes, el que vol dir que, en aquest cas, la interacció entre *Festuca* i *Chicorium* estaria oferint un efecte positiu a la invasibilitat d'aquestes cobertes. Una possible explicació podria venir deguda pel comportament que va presentar *Chicorium intybus* al llarg dels tres anys de l'experiment. Aquesta espècie va presentar una elevada mortalitat durant el segon any d'estudi, afavorint la proliferació de buits als camps on era sembrada. Aquest fet sens dubte va afavorir l'establiment de males herbes a les parcel·les on era present aquesta espècie. Aquestes circumstàncies ens permeten observar com la dinàmica de les interaccions entre les diferents espècies venen determinades per les característiques de les espècies que intervenen, o el que serien els seus efectes identitat.

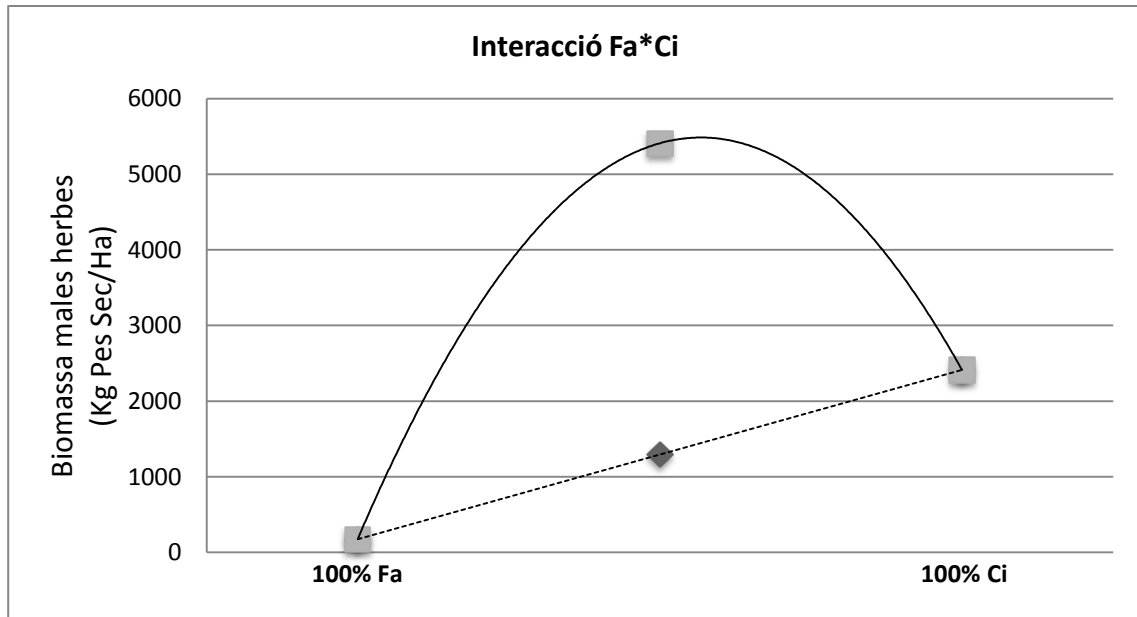


Figura 17: Model establert per la interacció entre *Festuca* i *Cichorium* dintre d'una suposada coberta formada per un 50% de cada espècie. En aquest cas, podem observar com les interaccions entre aquestes dues espècies no es poden considerar tan profitoses com el cas anterior, ja que per sí soles ofereixen una major oposició a la invasió d'espècies no desitjades (al voltant de 1000 kgMS/ha). En el cas de la combinació de les dues espècies, la biomassa de males herbes obtinguda arriba a més de 5000 kg MS/ha.

4. Conclusions

En aquest estudi es va observar una baixada en l'abundància de males herbes a les mesclures experimentals. De la mateixa manera, Kirwan et al. (2007, 2009) troben que fins i tot un modest increment de la diversitat de les espècies sembrades als sistemes de pastures d'ús intensiu podia produir beneficis de cara a la producció i a la resistència a males herbes i plagues. Tot i això, el comportament dins de les barreges d'estudiades enfront la seva invasibilitat no depèn només del nombre i la proporció d'espècies, sinó que juguen un paper també molt important la seva identitat i la seva distribució dins de la comunitat. Els models realitzats van mostrar que, de la mateixa manera que existeixen interaccions positives enfront la reducció en la producció de males herbes entre dues espècies, una gramínia i una lleguminosa, també podem no observar-ne o veure-se'n afavorida la producció de no-sembrades en funció de la identitat de les espècies que intervenen i de les casuístiques de creixement de cada espècie i de cada relació.

5. Bibliografia

- Altieri, M.A.,1989.** *Agroecology: A new research and development paradigm for world agriculture.* Agric. Ecosyst. Environ. 27, 37-46.
- Altieri, M.A., Nicholls, C.I.,2004.** *An agroecological basis for designing diversified cropping systems in the tropics.* J. Crop Improv. 11, 81-103.
- Ashton, I.W., Miller, A.E., Bowman, W.D., Suding, K.N.,2010.** *Niche complementarity due to plasticity in resource use: Plant partitioning of chemical N forms.* Ecology 91, 3252-3260.
- Daßler, A., Roscher, C., Temperton, V.M., Schumacher, J., Schulze, E.-.,2008.** *Adaptive survival mechanisms and growth limitations of small-stature herb species across a plant diversity gradient.* Plant Biol. 10, 573-587.
- Fargione, J., Tilman, D., Dybzinski, R., Hille Ris Lambers, J., Clark, C., Harpole, W.S., Knops, J.M.H., Reich, P.B., Loreau, M.,2007.** *From selection to complementarity: shifts in the causes of biodiversity-productivity relationships in a long-term biodiversity experiment.* Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences 274, 871-876.
- Flombaum, P., Sala, O.E.,2008.** *Higher effect of plant species diversity on productivity in natural than artificial ecosystems.* Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 105, 6087-6090.
- Frankow-Lindberg, B.E., Brophy, C., Collins, R.P., Connolly, J.,2009.** *Biodiversity effects on yield and unsown species invasion in a temperate forage ecosystem.* Annals of Botany 103, 913-921.
- Garcia Torres, L. i Fernandez-Quintanilla, C., 1989.** *Fundamentos sobre Malas Hierbas y herbicidas.* Ed. Mundi-Prensa.
- Gliessman, S.R.. 1998.** *Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture.*
- Hector, A., Hautier, Y., Saner, P., Wacker, L., Bagchi, R., Joshi, J., Scherer-Lorenzen, M., Spehn, E.M., Bazeley-White, E., Weilenmann, M., Caldeira, M.C., Dimitrakopoulos, P.G., Finn, J.A., Huss-Danell, K., Jumpponen, A., Mulder, C.P.H., Palmberg, C., Pereira, J.S., Siamantziouras, A.S.D., Terry, A.C., Troumbis, A.Y., Schmid, B., Loreau, M.,2010.** *General stabilizing effects of plant diversity on grassland productivity through population asynchrony and overyielding.* Ecology 91, 2213-2220.
- Kirwan, L., Lüscher, A., Sebastià, M.T., Finn, J.A., Collins, R.P., Porqueddu, C., Helgadottir, A., Baadshaug, O.H., Brophy, C., Coran, C., Dalmannsdóttir, S., Delgado, I., Elgersma, A., Fothergill, M., Frankow-Lindberg, B.E., Golinski, P., Grien, P., Gustavsson, A.M., Höglind, M., Huguenin-Elie, O., Iliadis, C., Jørgensen, M., Kadziulienė, Z., Karyotis, T., Lunnan, T., Malengier, M., Maltoni, S., Meyer, V., Nyfeler, D., Nykanen-Kurki, P., Parente, J., Smit, H.J., Thumm, U., Connolly, J.,2007.** *Evenness drives consistent diversity effects in intensive grassland systems across 28 European sites.* J. Ecol. 95, 530-539.

- Kirwan, L., Connolly, J., Finn, J.A., Brophy, C., Lüscher, A., Nyfeler, D., Sebastià, M.-.,2009.** *Diversity-interaction modeling: Estimating contributions of species identities and interactions to ecosystem function.* Ecology 90, 2032-2038.
- Marquard, E., Weigelt, A., Temperton, V.M., Roscher, C., Schumacher, J., Buchmann, N., Fischer, M., Weisser, W.W., Schmid, B.,2009.** *Plant species richness and functional composition drive overyielding in a six-year grassland experiment.* Ecology 90, 3290-3302.
- Mohler, C.L., Liebman, M.,1987.** *Weed productivity and composition in sole crops and intercrops of barley and field pea.* J. Appl. Ecol. 24, 685-699.
- Picasso, V.D., Brummer, E.C., Liebman, M., Dixon, P.M., Wilsey, B.J.,2008.** *Crop species diversity affects productivity and weed suppression in perennial polycultures under two management strategies.* Crop Sci. 48, 331-342.
- Picasso, V.D., Brummer, E.C., Liebman, M., Dixon, P.M., Wilsey, B.J.,2011.** *Diverse perennial crop mixtures sustain higher productivity over time based on ecological complementarity.* Renew. Agric. Food Syst. 26, 317-327.
- Roscher, C., Kutsch, W.L., Kolle, O., Ziegler, W., Schulze, E.-.,2011.** *Adjustment to the light environment in small-statured forbs as a strategy for complementary resource use in mixtures of grassland species.* Ann. Bot. 107, 965-979.
- Scherer-Lorenzen, M., Palmborg, C., Prinz, A., Schulze, E.-.,2003.** *The role of plant diversity and composition for nitrate leaching in grasslands.* Ecology 84, 1539-1552.
- Soussana, J.-., Maire, V., Gross, N., Reinhold, T., Daehring, H., Pontes, L.-., Picon-Cochard, C., Fontaine, S., Pages, L., Wirth, C.,2008.** *Modelling the relationships between the diversity and the functioning of pasture swards with a complex floristic composition.* Fourrages , 259-274.
- Van Ruijven, J., De Deyn, G.B., Berendse, F.,2003.** *Diversity reduces invasibility in experimental plant communities: the role of plant species.* Ecol. Lett. 6, 910-918.
- Vandermeer J., 1995,** *The ecological basis of alternative agriculture.* Annual Review of Ecological Systems,26: 201-224.
- Zavaleta, E.S., Pasari, J.R., Hulvey, K.B., Tilman, G.D.,2010.** *Sustaining multiple ecosystem functions in grassland communities requires higher biodiversity.* Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 107, 1443-1446.
- Zheng, X.-., Liu, G.-., Fu, B.-., Jin, T.-., Liu, Z.-.,2010.** *Effects of biodiversity and plant community composition on productivity in semiarid grasslands of Hulunbeir, Inner Mongolia, China.* Ann. New York Acad. Sci. 1195, E52-E64.

